

US 6,638,021

Turbine blade airfoil, turbine blade and turbine blade cascade for axial-flow turbine

Patent number: DE10054244
Publication date: 2002-08-13
Inventor: SENDHOFF BERNHARD (DE); OLHOFFER MARKUS (DE); ARIMA TOSHIMUKI (JP); SONODA TOYOTAKA (JP); KAWARADA SATOSHI (JP)
Applicant: HONDA MOTOR CO LTD (JP)
Classification:
- international: F01D5/14
- european: F01D5/14B
Application number: DE20001054244 20001102
Priority number(s): DE20001054244 20001102

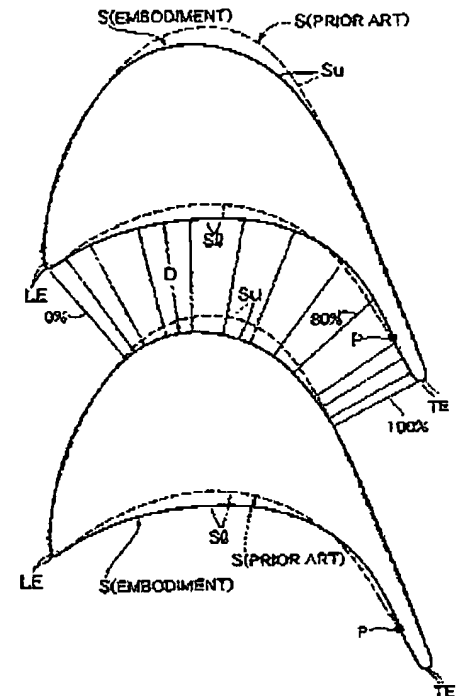
Also published as:

US6638021 (B2)
US2002085918 (A1)

Abstract not available for DE10054244

Abstract of corresponding document: US2002085918

A turbine blade for an axial-flow turbine includes an intrados generating a positive pressure, and an extrados generating a negative pressure, wherein the intrados and the extrados are provided between a leading edge and a trailing edge. An inflection point is provided between a concave portion on an upstream side and a convex portion on a downstream side in a region extending from a position of 80% on the intrados to a rear throat, and the length of a normal line drawn downwards from the intrados of one of the turbine blades to an extrados of the other turbine blade has at least one maximum value in a region extending from a front throat of the one turbine blade to a rear throat. Thus, it is possible to disperse a shock wave generated from the intrados at the trailing edge to prevent the generation of a strong shock wave, thereby reducing the pressure loss caused by the shock wave. In addition, a speed-reducing area can be formed on the extrados generating the negative pressure to promote the transition from a laminar flow boundary layer to a turbulent flow boundary layer, thereby preventing the separation of the boundary layer caused by the interference with a shock wave to reduce the pressure loss.



Data supplied from the esp@ccnet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 100 54 244 A 1

⑤ Int. Cl. 7:
F 01 D 5/14

⑳ Aktenzeichen: 100 54 244.1
㉑ Anmeldetag: 2. 11. 2000
㉒ Offenlegungstag: 13. 6. 2002

DE 100 54 244 A 1

㉓ Anmelder:
Honda Giken Kogyo K.K., Tokio/Tokyo, JP
㉔ Vertreter:
Weickmann & Weickmann, 81879 München

㉕ Erfinder:
Olhofer, Markus, 63500 Seligenstadt, DE; Sendhoff,
Bernhard, 63179 Oberthausen, DE; Kawarada,
Satoshi, Wako, JP; Sonoda, Toyotaka, Wako, JP;
Arima, Toshiyuki, Wako, JP

㉖ Entgegenhaltungen:
DE 25 24 250 A1
HEBBEL, Hans-Hermann: Über den Einfluß der
Machzahl und der Reynoldszahl auf die
aerodynamischen Beiwerte von Verdichter-
Schaufelgittern bei verschiedener Turbulenz
der Strömung, in: Forschung im Ing.-Wes.
33 (1987) Nr. 5, S. 141-150;

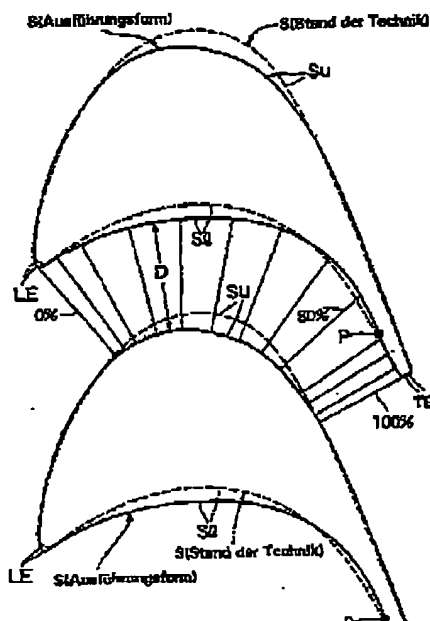
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ Turbinenblattanordnung und Turbinenblatt für eine Axialturbine

㉘ Mittel zur Lösung

Ein Turbinenblatt S für eine Axialturbine umfasst eine innere Wölbfläche Si, welche einen Überdruck erzeugt, und eine äußere Wölbfläche Su, welche einen Unterdruck erzeugt, wobei die innere Wölbfläche und die äußere Wölbfläche zwischen einer Vorlaufkante und einer Nachlaufkante vorgesehen sind. Ein Wendepunkt P ist zwischen einem konkaven Abschnitt an einer stromaufwärtigen Seite und einem konvexen Abschnitt an einer stromabwärtigen Seite in einem Bereich vorgesehen, welcher sich von einer Position von 80% an der inneren Wölbfläche Si zu einer hinteren Engstelle erstreckt, und die Länge D einer von der inneren Wölbfläche Si eines der Turbinenblätter S nach unten zu einer äußeren Wölbfläche Su des anderen Turbinenblattes S gezogenen normalen Linie weist wenigstens einen Maximalwert in einem Bereich auf, welcher sich von einer vorderen Engstelle des einen Turbinenblattes S zu einer hinteren Engstelle erstreckt. Somit ist es möglich, eine von der inneren Wölbfläche an der Nachlaufkante erzeugte Stoßwelle zu streuen, um die Erzeugung einer starken Stoßwelle zu vermeiden, wodurch der durch die Stoßwelle verursachte Druckverlust verringert wird. Zusätzlich kann an der den Unterdruck erzeugenden äußeren Wölbfläche Su ein geschwindigkeitsverringern- des Gebiet ausgebildet sein, um den Übergang von einer laminaren Strömungsgrenzschicht zu einer turbulenten



00 54 244 A 1

DE 100 54 244 A 1

1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Turbinenblattprofil für eine Axialturbine mit einer einen Überdruck erzeugenden inneren Wölbfläche und einer einen Unterdruck erzeugenden äußeren Wölbfläche, wobei die innere und die äußere Wölbfläche zwischen einer Vorlaufkante und einer Nachlaufkante vorgesehen sind, ein Turbinenblatt, an welchem ein derartiges Turbinenblattprofil eingesetzt ist sowie eine Turbinenblattkaskade umfassend eine Anordnung derartiger Turbinenblätter.

[0002] Ein Turbinenblatt S und eine Blattkaskade einer herkömmlichen Axialturbine sind in Fig. 1 durch eine gestrichelte Linie gezeigt. Das Profil des Turbinenblattes S umfasst eine Vorlaufkante LE, eine Nachlaufkante TE, eine äußere Wölbfläche Su, welche von der Vorlaufkante LE zur Nachlaufkante TE verläuft und während des Betriebs der Turbine hauptsächlich einen Unterdruck erzeugt, sowie eine innere Wölbfläche SI, welche von der Vorlaufkante LE zur Nachlaufkante TE verläuft und während des Betriebs der Turbine hauptsächlich einen Überdruck erzeugt. Ein Abschnitt der inneren Wölbfläche SI in der Nähe der Nachlaufkante TE nimmt eine einfache konkave Gestalt ohne Wendepunkt an und der Blatt-zu-Blatt-Abstand D in der Blattkaskade von benachbarten Turbinenblättern S, nämlich die Länge einer von der inneren Wölbfläche SI eines der Turbinenblätter S nach unten zur äußeren Wölbfläche Su des anderen Turbinenblattes S gezogenen Normalenlinie nimmt in einem Bereich, welcher von einer vorderen Engstelle zu einer hinteren Engstelle verläuft, monoton ab.

[0003] Es sind herkömmlicherweise Erfindungen bekannt, welche die Gestalt eines Nachlaufkantenabschnitts eines Turbinenblattes betreffen, die in den japanischen Patentanmeldungen, Offenlegungsnr. 57-113906, 7-332007 und 9-125904 beschrieben wurden.

[0004] Das in der japanischen Patentanmeldung, Offenlegungsnr. 57-113906 beschriebene Turbinenblatt weist einen Aufbau auf, bei welchem eine Nachlaufkante in Richtung auf eine äußere Wölbfläche hin gekrümmt ist, oder einen Aufbau, bei welchem die Krümmung der äußeren Wölbfläche an der Nachlaufkante größer als die einer inneren Wölbfläche ist. Dieser Aufbau gewährleistet, dass die Erzeugung einer Stoßwelle bei einer transsonischen Geschwindigkeit gesteuert wird, um die auf das Turbinenblatt ausgeübte Last zu verringern und den Druckverlust zu reduzieren.

[0005] Das in der japanischen Patentanmeldung, Offenlegungsnr. 7-332007 beschriebene Turbinenblatt weist eine geriffelte Unebenheit an einer Nachlaufkante auf. Dieser Aufbau gewährleistet, dass die Strömungsverteilung in der radialen Richtung einer Turbine wahrscheinlich gestört und der Geschwindigkeitsverlustanteil aufgrund eines Nachlaufs verringert ist, um die Strömungsleistung an jeder Stufe der Turbine zu verbessern.

[0006] Bei dem Turbinenblatt einer Dampfturbine, welches in der japanischen Patentanmeldung, Offenlegungsnr. 9-125904 beschrieben ist, ist ein Abschnitt einer äußeren Wölbfläche bei einer Nachlaufkante geradlinig ausgeschnitten. Dieser Aufbau gewährleistet, dass der Druckverlust verringert wird, während ein Widerstand gegen Erosion, welche durch die Vibration hervorgerufen wird, die durch eine Dämpfströmung oder durch Fremdmaterie innerhalb der Dampfströmung aufgebracht wird, gewährleistet wird.

[0007] Das Blatt S (siehe unterbrochene Linie) der herkömmlichen Axialturbine, welche in Fig. 1 gezeigt ist, weist eine ausreichende Leistung in einem Zustand auf, in welchem

2

S einen Nachteil dahingehend auf, dass, falls die Strömungsgeschwindigkeit an der Nachlaufkante eine Schallgeschwindigkeit erreicht, Stoßwellen SW1 und SW2, welche von der inneren Wölbfläche SI und der äußeren Wölbfläche Su an der Nachlaufkante erzeugt werden, eine Verringerung der Leistung verursachen. Insbesondere eine SW1 dieser Stoßwellen interferiert mit einer Grenzschicht an der äußeren Wölbfläche Su des benachbarten Turbinenblattes S, um einen Druckverlust zu verursachen, wodurch es erschwert wird, die Leistung der gesamten Turbine zu verbessern.

[0008] Die vorliegende Erfindung wurde im Hinblick auf den oben genannten Umstand gemacht und es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, den Einfluss einer von einer inneren Wölbfläche an einer Nachlaufkante eines Turbinenblattes S für eine Axialturbine erzeugten Stoßwelle zu minimieren, um die Leistung der Turbine zu verbessern.

[0009] Um das obige Ziel zu erreichen, ist gemäß Anspruch 1 der vorliegenden Erfindung ein Turbinenblattprofil für eine Axialturbine vorgesehen, umfassend eine einen Überdruck erzeugende innere Wölbfläche sowie eine einen Unterdruck erzeugende äußere Wölbfläche, wobei die innere und die äußere Wölbfläche zwischen einer Vorlaufkante und einer Nachlaufkante vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn die Position entlang der inneren Wölbfläche (SI) durch einen Prozentsatz derart repräsentiert ist, dass die Position der Vorlaufkante durch 0% repräsentiert ist und die Position der Nachlaufkante durch 100% repräsentiert ist, ein Wendepunkt zwischen einem konkaven Abschnitt an einer stromaufwärtigen Seite und einem konvexen Abschnitt an einer stromabwärtigen Seite in einem Bereich vorgesehen ist, welcher sich von einer Position von 80% an der inneren Wölbfläche bis zu einer hinteren Engstelle erstreckt.

[0010] Bei der obigen Anordnung ist der Wendepunkt zwischen dem konkaven Abschnitt an der stromaufwärtigen Seite und dem konvexen Abschnitt an der stromabwärtigen Seite in dem Bereich vorgesehen, welcher von der Position von 80% an der inneren Wölbfläche zur hinteren Engstelle verläuft. Somit ist es möglich, eine von der inneren Wölbfläche an der Nachlaufkante erzeugte Stoßwelle zu streuen, um die Entstehung einer starken Stoßwelle zu verhindern, wodurch der durch die Stoßwelle verursachte Druckverlust verringert wird.

[0011] Gemäß Anspruch 2 der vorliegenden Erfindung ist ein Turbinenblatt für eine Axialturbine vorgesehen, welches Turbinenblatt erhalten wird durch Anwenden des Turbinenblattprofils gemäß Anspruch 1 an wenigstens einem Abschnitt des Turbinenblattes in einer Spannweitenrichtung.

[0012] Mit der obigen Anordnung ist es möglich, den Freiheitsgrad der Konstruktion des Turbinenblattes zu erhöhen, indem das Turbinenblattprofil gemäß der vorliegenden Erfindung und ein bestehendes Turbinenblattprofil wie gewünscht in Kombination verwendet werden.

[0013] Gemäß Anspruch 3 der vorliegenden Erfindung ist eine Turbinenblattkaskade vorgesehen, umfassend eine Anordnung von Turbinenblättern mit dem Turbinenblattprofil gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge einer Normalenlinie, welche von einer inneren Wölbfläche eines aus einem Paar von benachbarten Turbinenblättern nach unten auf eine äußere Wölbfläche des anderen Turbinenblattes gezogen wird, wenigstens einen Maximalwert in einem Bereich aufweist, welcher sich von einer vorderen Engstelle bis zu einer hinteren Engstelle des einen Turbinenblattes erstreckt.

[0014] Mit der obigen Anordnung besitzt die Länge der Normalenlinie, welche von der inneren Wölbfläche eines

DE 100 54 244 A 1

3

4

zogen wird, wenigstens einen Maximalwert in dem Bereich, welcher von der vorderen Engstelle des einen Turbinenblatts zur hinteren Engstelle verläuft. Somit kann ein geschwindigkeitsverringeres Gebiet an der den Unterdruck erzeugenden äußeren Wölbfläche ausgebildet sein, um den Übergang von einer laminaren Strömungsgrenzschicht zu einer turbulenten Strömungsgrenzschicht zu fördern, wodurch die durch die Interferenz mit einer Stoßwelle verursachte Ablösung der Grenzschicht verhindert wird, um den Druckverlust zu verringern.

[0015] Gemäß Anspruch 4 der vorliegenden Erfindung, zusätzlich zu Anspruch 3, ist eine Turbinenblattkaskade für eine Axialturbine vorgesehen, dadurch gekennzeichnet, dass der Maximalwert gleich oder kleiner als 110% der Länge der Normalenlinie an der vorderen Engstelle ist.

[0016] Mit der obigen Anordnung ist der Maximalwert der Länge der von der inneren Wölbfläche des einen Turbinenblatts nach unten zur äußeren Wölbfläche des anderen Turbinenblatts gezogenen Normalenlinie gleich oder kleiner als 110% der Länge der Normalenlinie an der vorderen Engstelle. Somit kann ein sanfter Übergang von einer laminaren Strömungsgrenzschicht zu einer turbulenten Strömungsgrenzschicht erreicht werden.

[0017] Die Art und Weise der Ausführung der vorliegenden Erfindung wird nun durch eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben werden, welche in den beiliegenden Zeichnungen gezeigt ist. Dabei stellt dar:

[0018] Fig. 1 ein Diagramm, welches ein Turbinenblattprofil und eine Turbinenblattkaskade für eine Axialturbine zeigt.

[0019] Fig. 2 ein vergrößertes Diagramm eines in Fig. 1 gezeigten wesentlichen Abschnitts.

[0020] Fig. 3 ein Graph, welcher eine Variation im Blatt-zu-Blatt-Abstand entlang einer inneren Wölbfläche des Blattprofils zeigt.

[0021] Fig. 4 ein Graph, welcher eine Variation des Verlustfaktors bezogen auf die Geschwindigkeit an einem Auslass der Blattkaskade zeigt; und

[0022] Fig. 5 ein Diagramm, welches den Zustand einer Strömung um die Blattkaskade herum in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0023] Fig. 6 ein Diagramm, welches den Zustand einer Strömung um die Blattkaskade im Stand der Technik zeigt.

[0024] Fig. 1 bis 5 zeigen eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei Fig. 1 ein Diagramm ist, welches ein Turbinenblattprofil und eine Turbinenblattkaskade für eine Axialturbine zeigt; Fig. 2 ist ein vergrößertes Diagramm eines in Fig. 1 gezeigten wesentlichen Abschnitts; Fig. 3 ist ein Graph, welcher eine Variation im Blatt-zu-Blatt-Abstand entlang einer inneren Wölbfläche des Blattprofils zeigt; Fig. 4 ist ein Graph, welcher eine Variation im Verlustfaktor relativ zur Geschwindigkeit an einem Auslass der Blattkaskade zeigt; und Fig. 5 ist ein Diagramm, welches den Zustand einer Strömung um die Blattkaskade herum zeigt.

[0025] In Fig. 1 durch eine durchgezogene Linie dargestellte Turbinenblätter S sind in einem ringförmigen Gaskanal in einer Axialturbine angeordnet, um eine Turbinenblattkaskade zu bilden. Das Turbinenblatt S umfasst eine innere Wölbfläche SI (eine Überdruckfläche), welche beim Strömen eines Gases einen Überdruck erzeugt, sowie eine äußere Wölbfläche Su (eine Unterdruckfläche), welche bei der Gasströmung einen Unterdruck erzeugt. Eine unterbrochene Linie in Fig. 1 zeigt ein herkömmliches Turbinenblatt S, welches zum Vergleich gezeigt ist. Wie aus dem Vergleich

liche Turbinenblatt S in dem gesamten Bereich der inneren Wölbfläche SI ausschließlich einer Vorlaufkante LE und einer Nachlaufkante TE des Turbinenblatts S keinen in eine konkave Gestalt gekrümmten Wendepunkt auf, wohingegen das Turbinenblatt S der vorliegenden Ausführungsform, welches durch die durchgezogene Linie dargestellt ist, einen Wendepunkt P (siehe Fig. 2) zwischen einem in eine konkave Gestalt gekrümmten Abschnitt auf der Seite einer Vorlaufkante LE in der Nähe einer Nachlaufkante TE und einem in eine konvexe Gestalt gekrümmten Abschnitt auf der Seite der Nachlaufkante TE aufweist.

[0026] Eine Koordinatenposition an der unteren Fläche SI des Turbinenblatts S ist durch einen Prozentsatz der Länge entlang der unteren Fläche SI repräsentiert, wenn die Vorlaufkante LE als eine Position von 0% und die Nachlaufkante als eine Position von 100% definiert ist.

[0027] Vordere und hintere Engstellen sind in einem Einlaß und einem Auslass zwischen einem Paar von benachbarten Turbinen S definiert und jede weist eine minimale Schnittfläche eines Strömungswegs auf (nämlich einen minimalen Abstand zwischen dem Paar von Turbinenblättern S). Wenn eine Normalenlinie von der inneren Wölbfläche SI eines der Blattprofile S nach unten zur äußeren Wölbfläche Su des anderen Blattprofils S gezogen wird, ist der Abstand zwischen dem Paar der benachbarten Turbinenblätter S gleich einer Länge D der Normalenlinie. Fig. 3 zeigt Variationen von Blatt-zu-Blatt-Abständen D (auf dimensionslose Art und Weise repräsentiert, wobei der Blatt-zu-Blatt-Abstand an der Vorlaufkante als 1 definiert ist) in einer Richtung einer Sehne in der vorliegenden Ausführungsform sowie im Stand der Technik. In der vorliegenden Ausführungsform liegt die vordere Engstelle bei einer Position von 22% und die hintere Engstelle liegt bei einer Position von 97%, wobei der Wendepunkt P zwischen der Position von 80% und der hinteren Engstelle (der Position von 97%) angeordnet ist.

[0028] In Fig. 3 nimmt der Blatt-zu-Blatt-Abstand D im Stand der Technik von der vorderen Engstelle (einer Position von 5% bis 44%) zur hinteren Engstelle (einer Position von 93%) monoton ab, wohingegen der Blatt-zu-Blatt-Abstand in der vorliegenden Ausführungsform von der vorderen Engstelle (einer Position von 22%) aus monoton zunimmt, bis er bei einer Position von 56% einen Maximalwert annimmt und dann zur hinteren Engstelle (der Position von 97%) hin abnimmt. Das Verhältnis des dimensionslosen Blatt-zu-Blatt-Abstands 1,025 zum Maximalwert des dimensionslosen Blatt-zu-Blatt-Abstands 0,94 an der vorderen Engstelle beträgt etwa 1,09 und ist auf weniger als 110% gedrückt.

[0029] Das Blattprofil S in der vorliegenden Ausführungsform besitzt den Wendepunkt P zwischen dem konkaven Abschnitt an der stromaufwärtigen Seite und dem konvexen Abschnitt an der stromabwärtigen Seite in einem Bereich von der Position von 80% bis zur hinteren Engstelle (der Position von 97%) an der inneren Wölbfläche SI. Somit kann die von der inneren Wölbfläche SI in der Nähe der Nachlaufkante TE erzeugte Stoßwelle in zwei oder mehr Komponenten gestreut werden. Fig. 5 zeigt den Zustand einer Strömung einer Blattkaskade in der vorliegenden Ausführungsform, wobei zwei schwache Stoßwellen SW1 und SW2 erzeugt wurden, und Fig. 6 zeigt den Zustand einer Strömung einer Kaskade der Blätter im Stand der Technik, wobei eine starke Stoßwelle SWI erzeugt worden ist. Es ist zu sehen, dass im Stand der Technik eine Stoßwelle erzeugt wurde, jedoch bei der vorliegenden Ausführungsform die Stoßwelle in zwei Wellen geteilt wurde. In Fig. 5 und 6 bezeichnen

DE 100 54 244 A 1

5

6

krümmten Seite erzeugt werden, und 8 bezeichnet Blasen, welche durch die Stagnation der Gassrömung erzeugt werden.

[0030] Durch Teilen der Stoßwelle an der inneren Wölbfläche SI in zwei Wellen in der obigen Art und Weise, um die Intensität der einzelnen Stoßwelle zu schwächen, kann verhindert werden, dass eine einzelne Stoßwelle erzeugt wird, welche einen großen Verlust verursacht, wodurch der durch Interferenz einer Stoßwelle mit einer Grenzschicht zwischen den äußeren Wölbflächen Su der benachbarten Turbinenblätter S erzeugte Druckverlust verringert wird. Zusätzlich nimmt die Länge D der Normalenlinie (nämlich der Blatt-zu-Blatt-Abstand D), welche von der inneren Wölbfläche SI einer der Blätter in der Turbinenkaskade nach unten zur äußeren Wölbfläche Su des anderen Turbinenblattes S gezogen wird, in einem Bereich von der vorderen Engstelle zur hinteren Engstelle des einen Turbinenblattes S einen Maximalwert Dmax an, und falls die Länge D der Normalenlinie an der vorderen Engstelle als ein Standard definiert ist, ist der Maximalwert Dmax gleich oder kleiner als 110% (109%). Somit wird ein Geschwindigkeitsverringertes Gebiet an der äußeren Wölbfläche Su des Turbinenblattes S aufgrund einer Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit mit einer Zunahme des Blatt-zu-Blatt-Abstands D gebildet, wodurch ein sanfter Übergang von einer laminaren Strömungsgrenzschicht zu einer turbulenten Strömungsgrenzschicht erreicht werden kann. Somit ist es möglich, die durch die Interferenz der Grenzschicht mit den zwei Stoßwellen, welche von den unteren Flächen der Nachlaufkanten TE der benachbarten Turbinenblätter S erzeugt werden, hervorgerufene Ablösung der Grenzschicht an der äußeren Wölbfläche Su zu verhindern, wodurch der Druckverlust weiterhin effektiv verhindert werden kann.

[0031] Falls die Blattkaskade in der vorliegenden Ausführungsform verwendet wird, kann, wie in Fig. 4 gezeigt ist, der Verlustfaktor bei einer Machzahl M von 1,2 am Auslass der Blattkaskade um etwa 25% reduziert werden, verglichen mit einem Fall, bei welchem die Blattkaskade des Standes der Technik verwendet wird.

[0032] Obwohl die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausführlich beschrieben wurde, wird Verstanden werden, dass zahlreiche Modifikationen durchgeführt werden können, ohne vom Gegenstand der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0033] Beispielsweise ist das Turbinenblatt S gemäß der vorliegenden Erfindung sowohl an einem beliebigen Stator- und Rotorblatt anwendbar.

[0034] Das Blattprofil gemäß der vorliegenden Erfindung kann über den gesamten Bereich des Turbinenblattes S in einer Spannweitenrichtung oder lediglich in einem Teilbereich des Turbinenblattes S in der Spannweitenrichtung verwendet werden. Insbesondere kann das Blattprofil gemäß der vorliegenden Erfindung (z. B. das durch die durchgezogene Linie in Fig. 1 gezeigte Blattprofil) in einem Teilbereich des Turbinenblattes S in der Spannweitenrichtung verwendet werden, und ein weiteres Turbinenprofil (z. B. das durch die unterbrochene Linie in Fig. 1 gezeigte Blattprofil) kann in einem übrigen Bereich verwendet werden. Somit kann je nach Wunsch das Turbinenblattprofil gemäß der vorliegenden Erfindung und das bestehende Turbinenprofil in Kombination verwendet werden, wodurch der Konstruktionsfreiheitsgrad des Turbinenblattes vergrößert wird.

[0035] Wie oben beschrieben wurde ist gemäß Anspruch 1 der vorliegenden Erfindung der Wendepunkt zwischen dem konkaven Abschnitt an der stromaufwärtigen Seite und dem

mit ist es möglich, eine von der inneren Wölbfläche ander Nachlaufkante erzeugte Stoßwelle zu streuen, um die Entstehung einer starken Stoßwelle zu verhindern, wodurch der durch die Stoßwelle verursachte Druckverlust verringert wird.

[0036] Gemäß Anspruch 2 der vorliegenden Erfindung ist es möglich, den Konstruktionsfreiheitsgrad des Turbinenblattes zu vergrößern, indem man das Turbinenprofil gemäß der vorliegenden Erfindung und ein bestehendes Turbinenprofil je nach Wunsch in Kombination verwendet.

[0037] Gemäß Anspruch 3 der vorliegenden Erfindung weist die Länge der Normalenlinie, welche von der inneren Wölbfläche eines des Paares von benachbarten Turbinenblättern nach unten zur äußeren Wölbfläche des anderen Turbinenblattes gezogen wird, in dem Bereich, welcher von der vorderen Engstelle des einen Turbinenblattes zur hinteren Engstelle verläuft, wenigstens einen Maximalwert auf. Somit kann an der den Unterdruck erzeugenden äußeren Wölbfläche ein geschwindigkeitsverringertes Gebiet gebildet werden, um den Übergang von einer laminaren Strömungsgrenzschicht zu einer turbulenten Strömungsgrenzschicht zu fördern, wodurch die durch die Interferenz mit einer Stoßwelle verursachte Ablösung der Grenzschicht verhindert wird, um den Druckverlust zu verringern.

[0038] Gemäß Anspruch 4 der vorliegenden Erfindung ist, der Maximalwert der Länge der von der inneren Wölbfläche des einen Turbinenblattes nach unten zu der äußeren Wölbfläche des anderen Turbinenblattes gezogenen Normalenlinie gleich oder kleiner als 110% der Länge der Normalenlinie an der vorderen Engstelle. Somit kann ein sanfter Übergang von einer laminaren Strömungsgrenzschicht zu einer turbulenten Strömungsgrenzschicht erreicht werden.

[0039] Ein Turbinenblatt S für eine Axialturbine umfasst eine innere Wölbfläche SI, welche einen Überdruck erzeugt, und eine äußere Wölbfläche Su, welche einen Unterdruck erzeugt, wobei die innere Wölbfläche und die äußere Wölbfläche zwischen einer Vorlaufkante und einer Nachlaufkante vorgesehen sind. Ein Wendepunkt P ist zwischen einem konkaven Abschnitt an einer stromaufwertigen Seite und einem konvexen Abschnitt an einer stromabwärtigen Seite in einem Bereich vorgesehen, welcher sich von einer Position von 80% an der inneren Wölbfläche SI zu einer hinteren Engstelle erstreckt, und die Länge D einer von der inneren Wölbfläche SI eines der Turbinenblätter S nach unten zu einer äußeren Wölbfläche Su des anderen Turbinenblattes S gezogenen Normalenlinie weist wenigstens einen Maximalwert in einem Bereich auf, welcher sich von einer vorderen Engstelle des einen Turbinenblattes S zu einer hinteren Engstelle erstreckt. Somit ist es möglich, eine von der inneren Wölbfläche an der Nachlaufkante erzeugte Stoßwelle zu streuen, um die Erzeugung einer starken Stoßwelle zu vermeiden, wodurch der durch die Stoßwelle verursachte Druckverlust verringert wird. Zusätzlich kann an der den Unterdruck erzeugenden äußeren Wölbfläche Su ein geschwindigkeitsverringertes Gebiet ausgebildet sein, um den Übergang von einer laminaren Strömungsgrenzschicht zu einer turbulenten Strömungsgrenzschicht zu fördern, wodurch die durch die Interferenz mit einer Stoßwelle verursachte Ablösung der Grenzschicht verhindert wird, um den Druckverlust zu verringern.

Beschreibung von Bezugszeichen

D Länge einer von einer inneren Wölbfläche nach unten zu einer äußeren Wölbfläche gezogenen Normalenlinie
Dmax Maximalwert der Länge der Normalenlinie

DE 100 54 244 A 1

7

8

P Wendepunkt
S Turbinenblatt
SI innere Wölbfläche
Su äußere Wölbfläche

5

Patentansprüche

1. Turbinenblattprofil für eine Axialturbine, umfassend eine einen Überdruck erzeugende innere Wölbfläche (SI) sowie eine einen Unterdruck erzeugende äußere Wölbfläche (Su), wobei die innere (SI) und die äußere Wölbfläche (Su) zwischen einer Vorlaufkante (LE) und einer Nachlaufkante (TE) vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn die Position entlang der inneren Wölbfläche (SI) durch einen Prozentsatz derart repräsentiert ist, dass die Position der Vorlaufkante (LE) durch 0% repräsentiert ist und die Position der Nachlaufkante (TE) durch 100% repräsentiert ist, ein Wendepunkt (P) zwischen einem konkaven Abschnitt an einer stromaufwärtigen Seite und einem konvexen Abschnitt an einer stromabwärtigen Seite in einem Bereich vorgesehen ist, welcher sich von einer Position von 80% an der inneren Wölbfläche (SI) bis zu einer, hinteren Engstelle erstreckt.
2. Turbinenblatt für eine Axialturbine, welches Turbinenblatt (S) erhalten wird durch Einsetzen des Turbinenblattprofils nach Anspruch 1 an wenigstens einem Abschnitt des Turbinenblattes (S) in einer Spannweitenrichtung.
3. Turbinenblattkaskade umfassend eine Anordnung von Turbinenblättern (S) mit den Turbinenblattprofil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge (D) einer Normalenlinie, welche von einer inneren Wölbfläche (SI) eines aus einem Paar von benachbarten Turbinenblättern (S) nach unten auf eine äußere Wölbfläche (Su) des anderen Turbinenblattes (S) gezogen wird, wenigstens einen Maximalwert (Dmax) in einem Bereich aufweist, welcher sich von einer vorderen Engstelle bis zu einer hinteren Engstelle des einen Turbinenblattes (S) erstreckt.
4. Turbinenblattkaskade für eine Axialturbine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Maximalwert (Dmax) gleich oder kleiner als 110% der Länge (D) der Normalenlinie an der vorderen Engstelle ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

FIG. 1

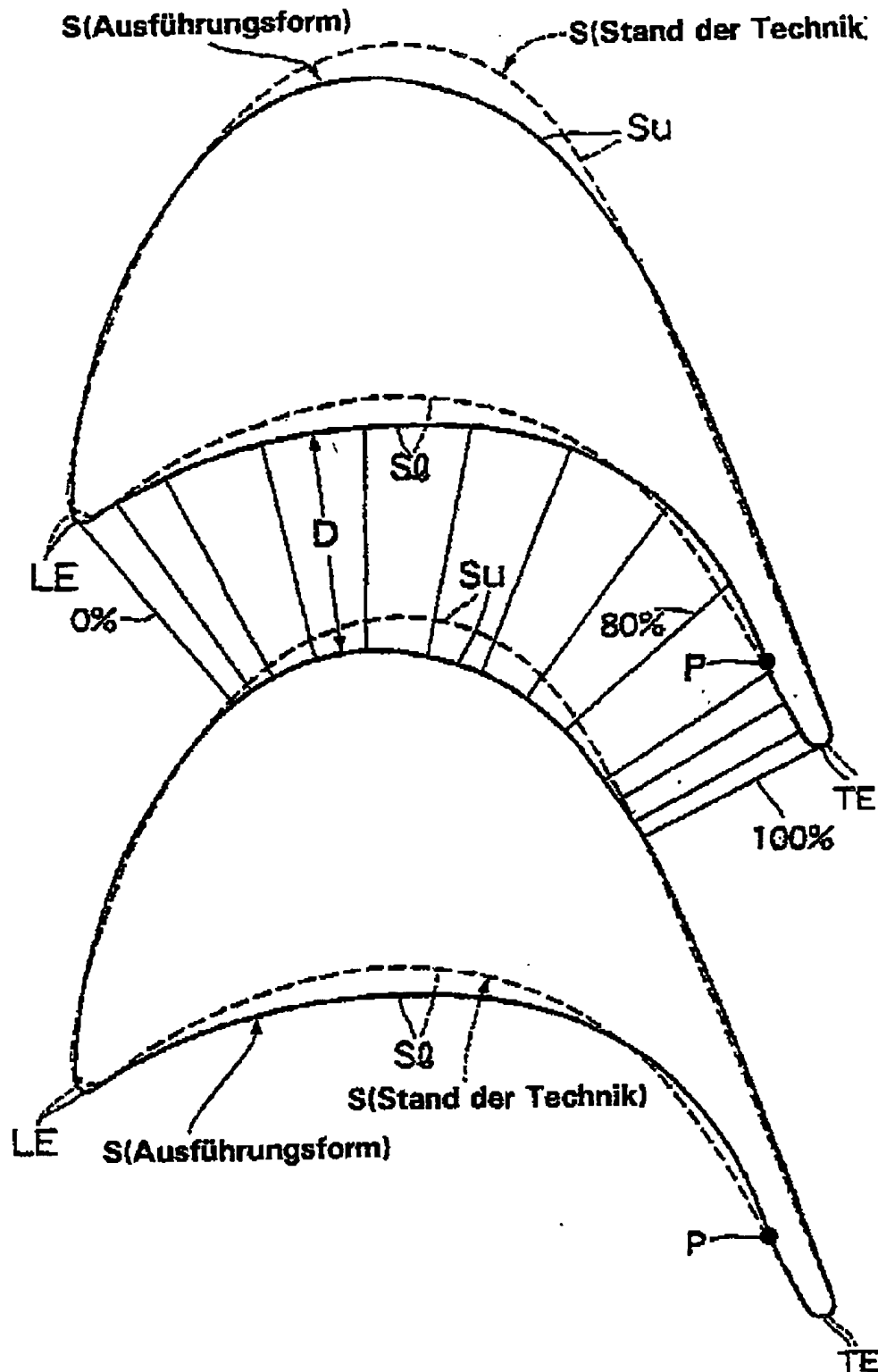


FIG. 2

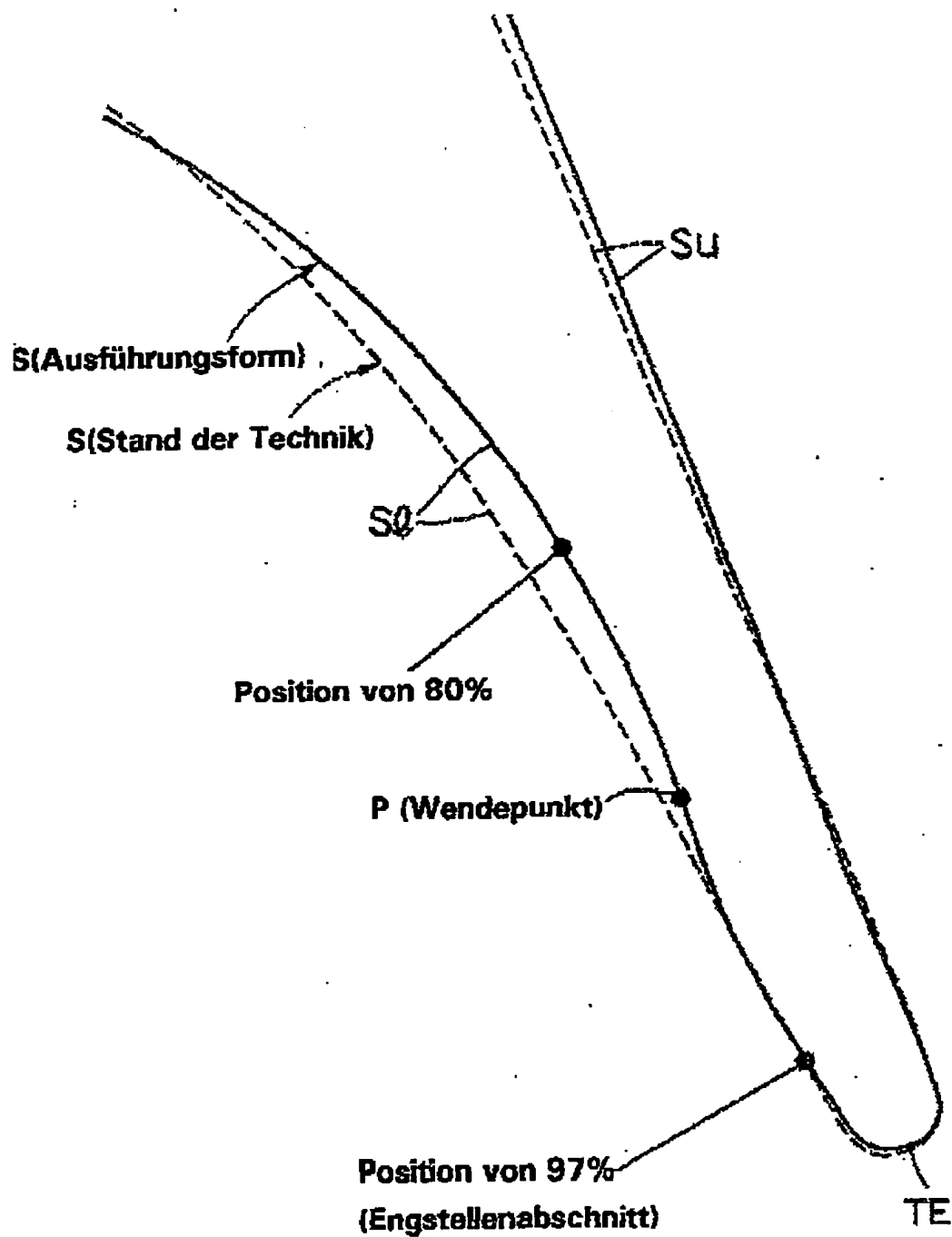


FIG. 3

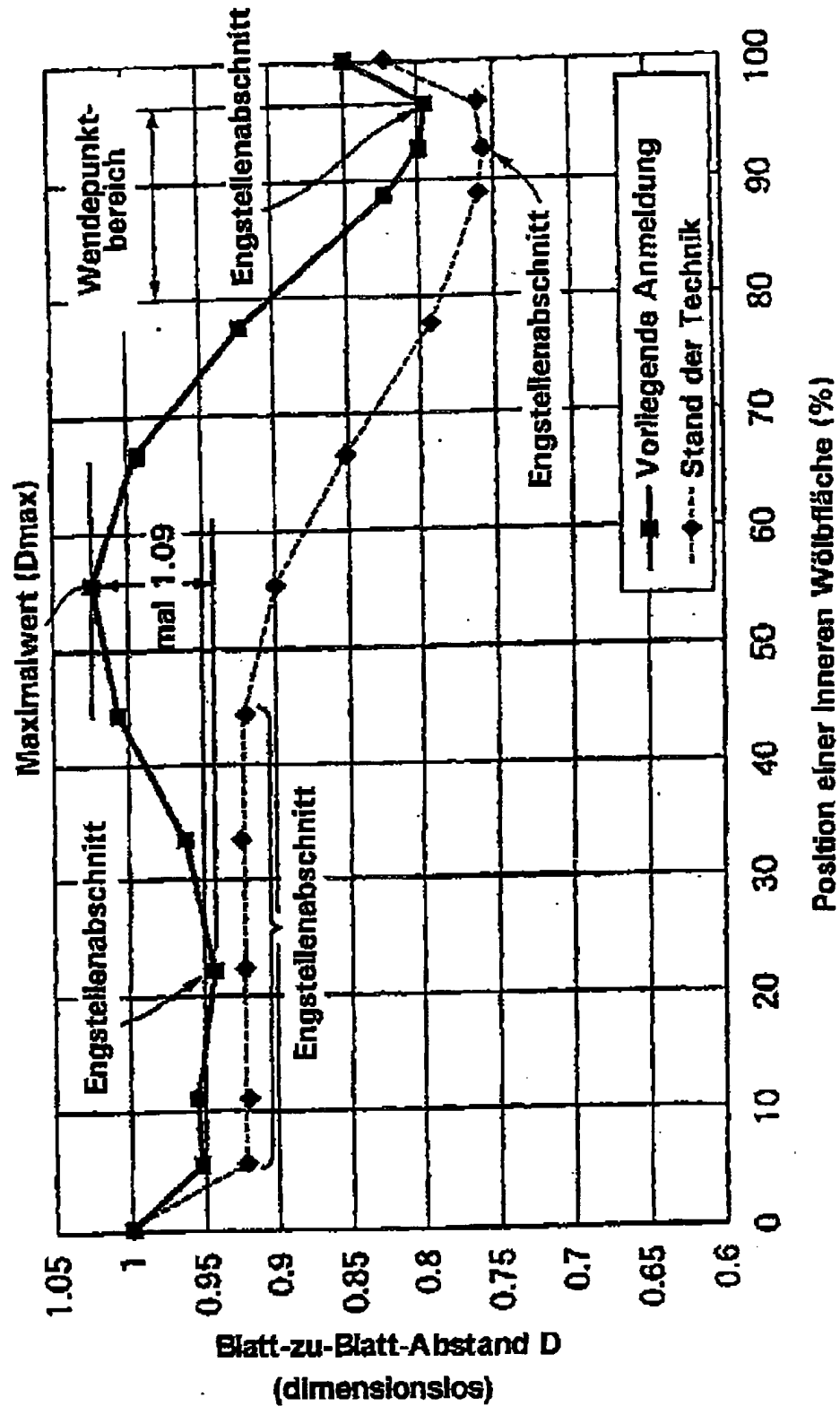


FIG. 4

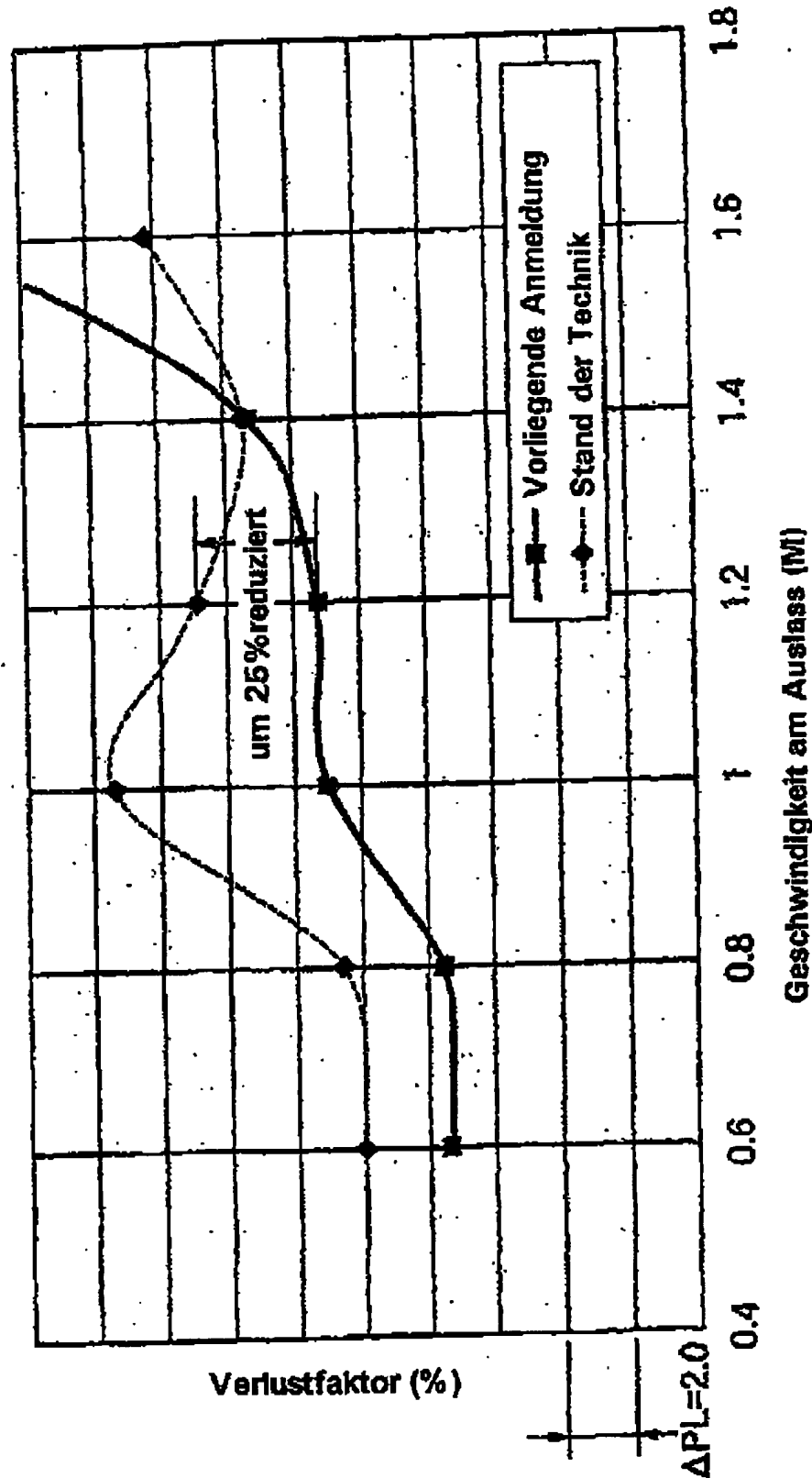


FIG. 5

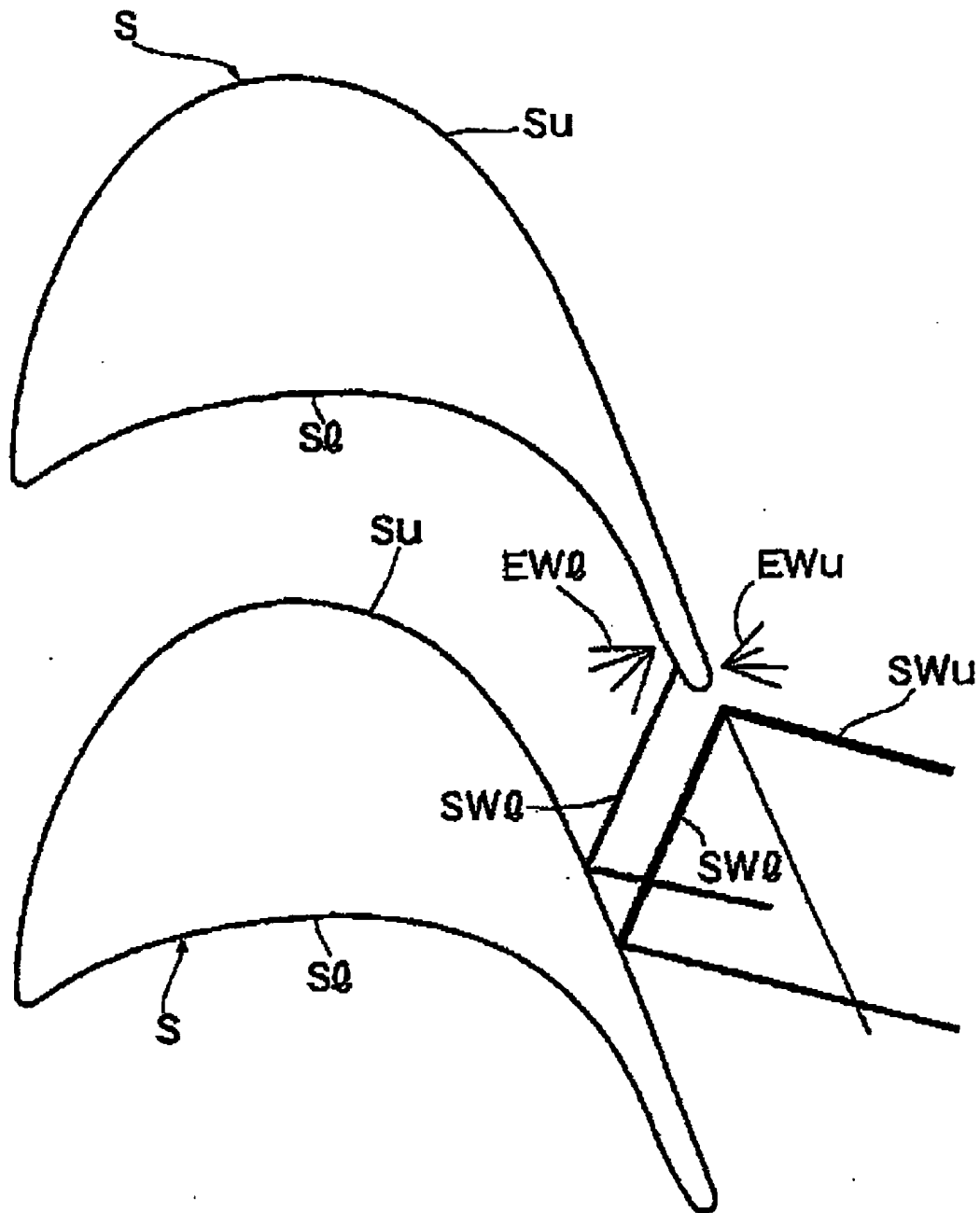
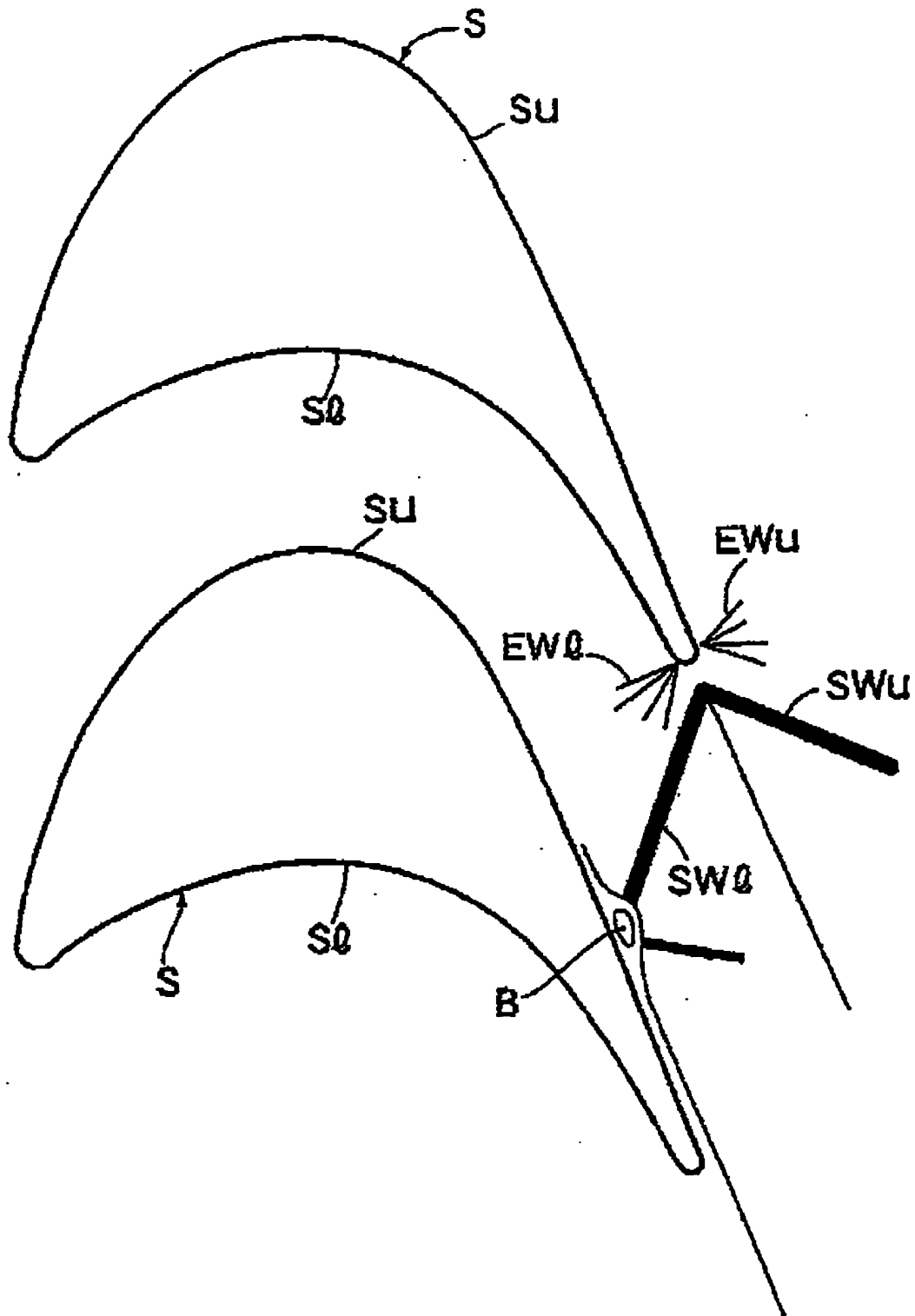


FIG. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.